

学 位 論 文 題 名

3 - D Analysis and Retrodeformation of Deformed Fossils
- An application to Early Triassic Ichthyosaur
Utatsusaurus hataii -

（変形した化石の三次元的解析および復元
- 三畳紀初期魚竜 *Utatsusaurus hataii* への適用 -）

学位論文内容の要旨

系統や分類・機能・古生態を含め古生物研究はそのほとんどを化石の形態的情報に依存している。しかし、圧密作用や構造運動によって強い変形を被った化石においては、形状、角度、アスペクト比といった古生物が本来持っていた形態的情報も様々に偏り、本来の形態的情報を知ることが困難なことがある。特に産出の少ない生物の化石が変形を受けていた場合、変形復元は正しい情報を得る上で欠かせない。

従来、化石の変形解析では、二次元の歪楕円の概念を用いた二次元画像解析が行われてきた。しかし、より精確な解析および復元を行なうには、三次元の歪楕円体の概念を用いた三次元歪解析することが要求される。本研究では、二次元画像に代わって三次元グリッドデータを扱い、化石の三次元的解析および復元を行なった。

化石の三次元グリッドデータを取得するために、レーザー計測装置を用いて化石表面を0.1mm間隔で計測し、商用の3-DCGソフトウェアを用いてこれらの化石データを画像化した。

生物は直線や平面として単純化できる形態要素を多く持っている。これらの形態要素に相当するグリッドデータを、多変量解析または主成分解析を用いて回帰直線や回帰平面として単純化することで、数学的に扱うことを可能にした。

これらの形態要素の中には正中面と左右対称な要素を結ぶ直線などのように、三次元的に互いに垂直関係にあるものがある（初生的直交要素）。それらの初生的直交要素は変形後の化石において直交関係を失っており、それら直交関係を復元することで化石全体が被った変形を表現する三次元の歪楕円体の傾きやプロポーションを計算できる。

変形のパラメータは歪楕円体の3軸の比を $A:B:1$ とし、その歪楕円体の xyz 直交座標系に対する傾きを3つの角度 ω_x 、 ω_y および ω_z で表現すると、5つの未知数で表現できる。

本研究では、これらの未知数を求めるために、統計学的手法と計算プログラムを開発した。この

手法を三疊紀初期魚竜 *Utatsusaurus hataii* (UHR30691) に適用した。頭骸骨、肩甲骨、椎骨、神経突起、前肢骨などに対する三次元計測の結果、合計 600 万以上のグリッドデータを取得した。これらから初生的直交要素を抽出し、その結果求められたパラメータをもとに 3DCG を逆変形させ、変形前の化石の形態を復元した。

復元された 3-DCG 画像から、左右の肩甲骨の対称性をはじめとする生物学的情報を検討し、多くの骨要素において対称性やプロポーションの均一性を復元できたことを確認した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岡 田 尚 武

副 査 教 授 鈴 木 徳 行

副 査 助教授 西 弘 嗣

副 査 助教授 箕 浦 名知男 (総合博物館)

学 位 論 文 題 名

3 - D Analysis and Retrodeformation of Deformed Fossils - An application to Early Triassic Ichthyosaur *Utatsusaurus hataii* -

(変形した化石の三次元的解析および復元
- 三疊紀初期魚竜 *Utatsusaurus hataii* への適用 -)

近年のテクノロジーの進歩により、古脊椎動物学の分野においても、三次元コンピューターグラフィックス (3DCG) を用いた研究が盛んになりつつある。しかしその多くは化石の計測データからモデリングした化石の仮想イメージを用いた生物機械学、あるいは機能形態学的研究を目的としており、3DCG を用いた化石の変形復元は未開拓の分野で、今後の発展が待たれている状況にある。

本論文は、圧密変形および構造変形を被った変形化石を、三次元レーザー計測装置を用いてグリッドデータ化し、モデリングした 3DCG に基づいた三次元的復元を可能とする統計的手法を開発し、それを三疊紀初期の魚竜 *Utatsusaurus hataii* の化石に適用し、その三次元的形態を明らかにしたものである。

系統や分類・機能・古生態を含め古生物研究はそのほとんどを化石の形態的情報に依存している。しかし、圧密作用や構造運動によって強い変形を被った化石においては、形状、角度、アスペクト比といった古生物が本来持っていた形態的情報も様々に偏り、本来の形態的情報を知ることが困難なことがある。特に産出の少ない生物の化石が変形を受けていた場合、変形復元は正しい情報を得る上で欠かせない。

従来、化石の変形解析では、二次元の歪楕円の概念を用いた二次元画像解析が行われてきた。しかし、より精確な解析および復元を行なうには、三次元の歪楕円体の概念を用いた三次元歪解析することが要求される。

このような現況の中、本論文では化石の三次元グリッドデータを取得するために、レーザー

計測装置を用いて化石表面を 0.1mm 間隔で計測し、商用の 3-DCG ソフトウェアを用いてこれらの化石データを画像化した。このことによって、二次元画像に代わって三次元グリッドデータを扱い、化石の三次元的解析を可能にした。

生物は直線や平面として単純化できる形態要素を多く持っている。これらの形態要素に相当するグリッドデータを、多変量解析または主成分解析を用いて回帰直線や回帰平面として単純化することで、数学的に扱うことを可能にした。

これらの形態要素の中には正中面と左右対称な要素を結ぶ直線などのように、三次元的に互いに垂直関係にあるものがある(初生的直交要素)。それらの初生的直交要素は変形後の化石において直交関係を失っており、それら直交関係を復元することで化石全体が被った変形を表現する三次元の歪楕円体の傾きやプロポーションを計算が可能である。本論文では、これらの計算を可能とする統計学的手法と計算プログラムを開発し、初めて化石の三次元的復元を可能にした。

本論文では、この手法を三疊紀初期魚竜 *Utatsusaurus hataii* (UHR30691) に適用した。頭骸骨、肩甲骨、椎骨、神経突起、前肢骨などに対する三次元計測の結果、合計 600 万以上のグリッドデータを取得した。これらから初生的直交要素を抽出し、その結果求められたパラメータをもとに 3DCG を逆変形させ、変形前の化石の形態を復元することに成功した。

復元された 3-DCG 画像から、左右の肩甲骨の対称性をはじめとする生物学的情報を検討され、多くの骨要素において対称性やプロポーションの均一性を復元できたことが確認された。

これを要するに、特に以下の点で特筆すべき研究成果が得られている。(1) 二次元画像(写真など)に基づいた従来の解析手法では不可能であった、化石の三次元的な変形パラメータを得ることをはじめて可能にした。(2) 強い変形のために記載や比較が困難な状態にあった魚竜 *Utatsusaurus hataii* の化石を、3DCG を用いて変形復元し、その三次元的形態を任意の方向から観察すること可能にした。すなわち著者は、機能形態学的研究をはじめとする古脊椎動物研究の基礎となる、化石の変形復元について革新的な手法を開発したものであり、古脊椎動物学の基礎研究に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格あるものと認める。